

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ОПТИЧЕСКОЙ И ВЕСОВОЙ МУТНОСТЬЮ ВОДЫ ПРИТОКОВ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*Москва, Россия*

*Dmitriy.Sokolov@yandex.ru*

Взвешенные вещества играют важную роль в формировании качества воды пресноводных экосистем: уменьшают прозрачность воды, влияют на проникновение в неё света, на её температуру, на интенсивность сорбционно-десорбционных процессов, на состав и распределение донных отложений. Высокая мутность препятствует ультрафиолетовому обеззараживанию воды, стимулирует рост бактерий. С другой стороны, маломутные воды хуже поддаются коагуляционной очистке от избыточного содержания органических веществ. Оценка речного стока взвешенных наносов необходима для прогнозирования темпов заиления водохранилищ.

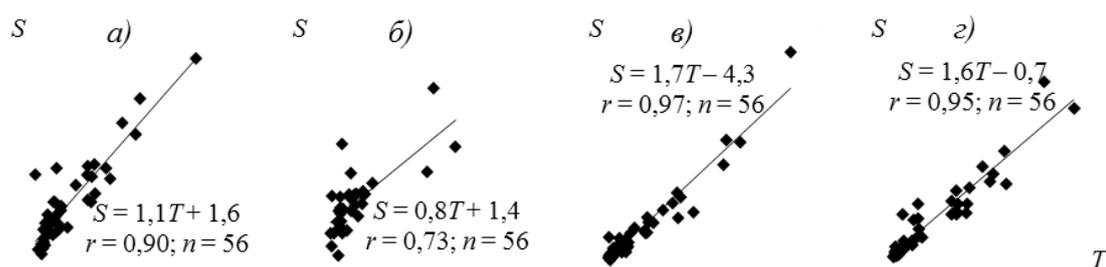
Общепринятый метод измерения количества взвешенных веществ в воде – гравиметрический анализ, заключающийся в определении массы осадка в объёме воды и расчёте весовой мутности воды  $S$ , мг/л. Ввиду трудоёмкости гравиметрического метода широкое распространение получили простые косвенные методы оценки содержания взвесей, в первую очередь – измерение оптической мутности  $T$ , NTU (nephelometric turbidity units), характеризующей уменьшение прозрачности воды под влиянием взвесей и иных примесей или живых организмов.

Для оценки стока взвесей необходим пересчёт нефелометрических единиц (NTU) в весовые (мг/л). В гидрологии рек такой пересчёт затрудняется тем, что используемые эмпирические зависимости  $S = f(T)$  имеют региональный характер [1]. В работе [4] нами выполнена оценка поступления взвешенных веществ в Можайское водохранилище с использованием зависимости  $S = T$  ( $r = 0,97$ , длина ряда  $n = 219$ ), ранее полученной для водных масс самого Можайского водохранилища [3] и хорошо согласующейся с зависимостью  $S = 0,93T + 3,76$  ( $r = 0,99$ ,  $n = 9$ ), рекомендуемой для средних и малых равнинных рек лесной и лесостепной зон ЕТР [1]. Однако очевидно, что, несмотря на высокую статистическую значимость этих связей, их применимость для конкретных водотоков требует дополнительного обоснования.

С этой целью с марта 2016 г. по март 2017 г. нами проведён годичный цикл полевых наблюдений за режимом мутности воды основных притоков Можайского водохранилища – рек Москвы, Лусянки, Колочи. Площадь водосборов этих рек составляет 91% площади водосбора водохранилища, в сумме они дают более 83% притока воды в водохранилище [2]. Наблюдения на р. Москве производили на гидрологическом посту Росгидромета в д. Барсуки, а также в нижнем бьефе Можайского гидроузла; на р. Лусянке – в 1,5 км выше гидрологического поста д. Черники; на р. Колочи – в д. Бородино.

На реках отбирали пробы воды (в периоды половодья и отдельных паводков – ежедневно или через день, в остальное время – в среднем еженедельно). В пробах определяли оптическую мутность  $T$ , NTU с помощью портативного нефелометра НАСН 2100Р и весовую мутность  $S$ , мг/л гравиметрическим методом. Всего за период наблюдений отобрано по 56 проб в каждом створе.

Подобные исследования притоков Можайского водохранилища проводились лишь дважды за время его существования – в 1968-69 гг. [2] и нами в 2012-13 гг. [4]. Однако в первом случае в речных водах определяли только весовую, а во втором – только оптическую мутность. В настоящей работе впервые получены зависимости  $S = f(T)$  для притоков Можайского водохранилища на основе годового ряда регулярных парных определений  $S$  и  $T$  (рис., табл.).



**Рис. Связь между оптической ( $T$ , NTU) и весовой ( $S$ , мг/л) мутностью воды р. Москвы выше (а) и ниже (б) Можайского водохранилища, р. Лусьянки (в), р. Колочи (г) по данным 2016–17 гг.**

Согласно [1], угловой коэффициент  $k$  уравнений типа  $S = kT + b$  возрастает при увеличении среднего диаметра взвешенных наносов. Действительно, реки Лусьянка ( $k = 1,7$ ) и Колочь ( $k = 1,6$ ) имеют больший уклон, эрозионный врез и, как следствие, характеризуются в среднем большей крупностью взвешенных частиц по сравнению с р. Москвой в д. Барсуки ( $k = 1,1$ ) и тем более в нижнем бьефе Можайского гидроузла ( $k = 0,8$ ), куда поступают значительно осветлённые водные массы водохранилища.

Для сравнительной оценки применимости этих и ранее полученных [3] связей  $S = f(T)$  рассчитан годовой сток взвешенных веществ в рассматриваемых створах как сумма масс транспортируемых взвесей за каждый день расчётного периода. Эти массы вычисляли как произведения суточного объема водного стока на среднюю концентрацию взеси в нём (в мг/л). Регулярные наблюдения в течение года и учащённый отбор проб в период половодья, на который приходится 3/4 стока взвешенных веществ [4], позволили использовать линейную интерполяцию для получения ежесуточных значений мутности.

Расчёт выполнен в нескольких вариантах, различающихся способом задания концентраций взеси: по данным определения весовой мутности либо на основе значений оптической мутности с использованием новых (рис. 1) или

ранее полученных [3] зависимостей  $S = f(T)$ . Результаты оценок годового стока взвешенных веществ представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, оценки стока взвешенных веществ по данным измерений весовой мутности (этот способ, очевидно, следует считать наиболее достоверным) и с использованием зависимостей  $S = f(T)$ , полученных по материалам 2016–17 гг., дают очень близкие результаты (их расхождение для отдельных створов не превышает  $\pm 5\%$ , а для суммарного стока взвешенных веществ основных притоков Можайского водохранилища составляет менее 1%). Использование же связи [3], полученной для водных масс Можайского водохранилища, приводит к существенному занижению оценки стока взвесей во всех створах (на 22–34% для притоков водохранилища и на 15% в нижнем бьефе Можайского гидроузла).

**Таблица. Оценка годового стока взвешенных веществ с речным стоком в Можайское водохранилище и стока из него по данным 2016–17 гг.**

Способы задания концентраций взвеси	Годовой сток взвешенных веществ, тонны			
	р. Москва, д. Барсуки	р. Лусянка, д. Черники	р. Колоочь, д. Бородино	Нижний бьеф Можайского гидроузла
по значениям $S$	1870	840	1240	1160
по связи $S = T$ [3]	1440	590	780	970
по связям на рис. 1	1860	880	1180	1140

Внутригодовая изменчивость мутности в нижнем бьефе Можайского гидроузла существенно сглаживается по сравнению с притоками водохранилища (коэффициент вариации  $C_V$  снижается вдвое – с 0,8–1,2 до 0,5–0,6), что хорошо согласуется с результатами прежних исследований [2, 4].

*Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-35-00199 мол\_а).*

#### *Литература*

1. Белозёрова Е.В., Чалов С.Р. Определение мутности речных вод оптическими методами // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. №6. С. 39–45.
2. Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 3. Можайское водохранилище. М.: МГУ, 1979. 467 с.
3. Соколов Д.И. Влияние водохранилищ на изменение окисляемости и цветности речной воды (на примере источников водоснабжения г. Москвы). Дисс. ... канд. геогр. наук (25.00.27). М.: МГУ, 2013. 179 с.
4. Соколов Д.И. Режим мутности воды в Можайском водохранилище // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды Межд. научно-практ. конф. Т. 2. Пермь, 2015. С. 153–157.